

Applications & Cases



SAW-Filter für drahtlose Messdatenerfassung

Juli 2008

Getrimmt auf Empfindlichkeit

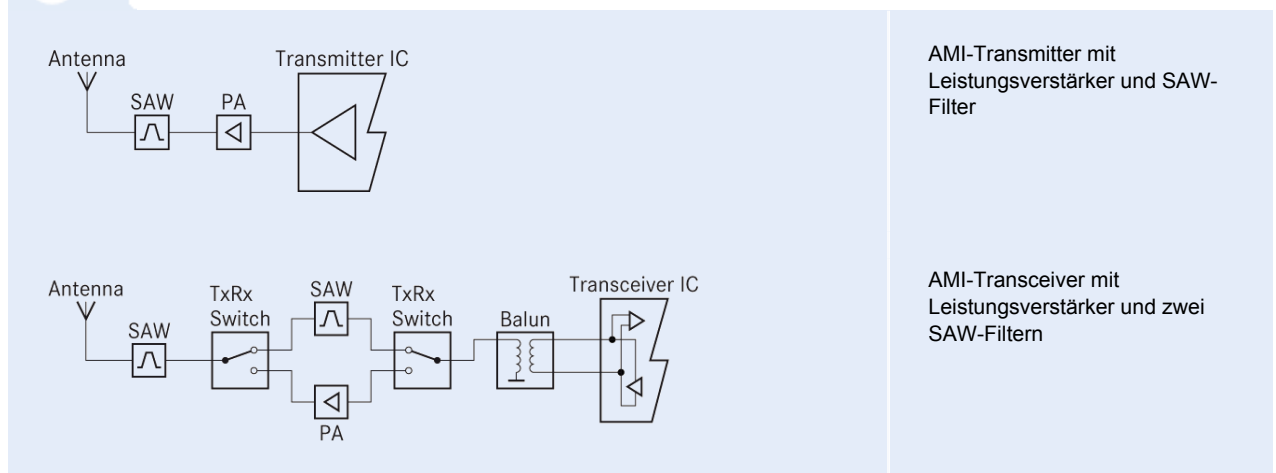
Zu einem effizienten Gebäude- und Energiemanagement gehört heute die automatische Erfassung der Verbrauchsdaten von Strom, Gas und Wasser. Sie verringert Kosten und schränkt die Fehleranfälligkeit ein, außerdem entfällt das zeitraubende manuelle Ablesen vor Ort.

Als Verbrauchszähler dienen Advanced-Metering-Infrastructure-Systeme (AMI). Sie übertragen die ermittelten Daten per Funk an die Netzwerke der Versorgungsunternehmen, wo die Daten dann für das Analyse- und Energiemanagement ausgewertet werden. Entscheidend für die sichere Funkverbindung zwischen AMI und Netzwerk ist die Empfindlichkeit und Trennschärfe der Sende-Empfangs-Einheit.

AMI-Systeme gibt es in zwei Ausführungen. Einfache Transmitter-Systeme senden nur, komplexere Transceiver-Systeme können sowohl senden als auch empfangen. Während Transmitter die Daten zu vorher festgelegten Zeiten übertragen, senden Transceiver-Systeme erst nach einer Aufforderung durch die Abfrageeinheit, die wiederum den erfolgreichen Empfang nach der Übertragung bestätigt (siehe Abbildung 1).



ABBILDUNG 1: TRANSMITTER- UND TRANSCEIVER-SCHALTUNG



Verwendete Modulationsverfahren

Um eine zuverlässige Datenübertragung sicherzustellen, werden unterschiedliche Modulationsverfahren eingesetzt. In mehrkanaligen Anwendungen sind das üblicherweise FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) oder DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum). In einkanaligen Applikationen kommen Amplitudenumtastung (ASK: Amplitude Shift Keying) oder Frequenzumtastung (FSK: Frequency Shift Keying) zum Einsatz. Die AMI-Systeme müssen diese Modulationsverfahren beherrschen. Eine weitere Anforderung an die HF-Frontends: Sie müssen eine sehr hohe Empfindlichkeit aufweisen und gleichzeitig gegenüber Interferenzen weitgehend immun sein. Diese können im Praxiseinsatz beispielsweise durch andere HF-Anwendungen wie Mobilfunk oder Amateurfunk hervorgerufen werden.

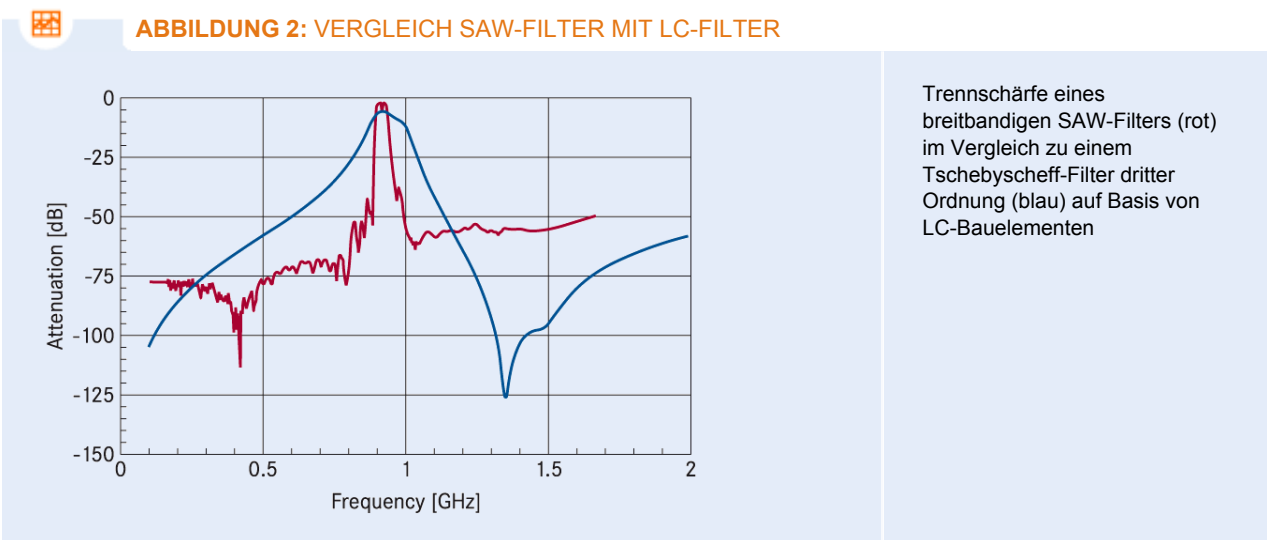
Um die vom IC erzeugten Oberschwingungen und Störstrahlen zu unterdrücken, werden in den bisher existierenden AMI-Systemen SAW-Filter eingesetzt. Die Filter sorgen zusätzlich für eine hohe Trennschärfe – beispielsweise, wenn der Filter im Empfangsteil des AMI-Receiver unmittelbar hinter oder vor der Antenne sitzt.

Applications & Cases



Typisches SAW-Filter für AMI-Anwendungen

Auch wenn manche Halbleiterhersteller ICs anbieten, bei denen – laut ihrer Aussage – keine SAW-Filter notwendig sind, sind deren Vorteile im Vergleich zu den vonseiten der Hersteller vorgeschlagenen diskreten Filterlösungen beachtlich. Selbst breitbandige SAW-Filter weisen – beispielsweise gegenüber LC-Filtern – eine größere Trennschärfe bei geringerer Einfügedämpfung auf (Abbildung 2). Daraus ergibt sich eine höhere Empfindlichkeit. Ein weiterer Vorteil der SAW-Filter ist der niedrigere Temperaturkoeffizient.



Rolle der Schaltungstopologie

Eine höhere Trennschärfe bedingt immer eine erhöhte Einfügedämpfung und damit eine schlechtere Empfindlichkeit – dies gilt für LC-Filter ebenso wie für SAW-Filter. Eine maßgebliche Rolle für die Empfindlichkeit von AMI-Systemen spielt die Schaltungstopologie. Hierzu wurden vier Beispiele berechnet (siehe Beispiel 1 bis 4). Bei allen Berechnungen wurde der Rauschfaktor F beziehungsweise das gängigere logarithmische Rauschmaß NF als Maß für die Empfindlichkeit zugrunde gelegt. Der Rauschfaktor beschreibt das Signal-Rauschspannungs-Verhältnis am Eingang eines vierpoligen Elements im Verhältnis zum Signal-Rauschspannungs-Verhältnis am Ausgang des Vierpols:

$$F = \frac{S_i / N_i}{S_o / N_o}$$

beziehungsweise

Applications & Cases

$$NF = 10\log(F) \quad (1)$$

wobei S_i das Signal am Eingang, S_o das Signal am Ausgang, N_i das Rauschen am Eingang und N_o das Rauschen am Ausgang des Vierpols darstellen. Bei mehr als zwei Vierpolen, die so kaskadiert sind wie in Abbildung 1 unten, gilt für den Gesamtrauschfaktor F_{1-n} :

$$F_{1-n} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 G_2 \dots G_{n-1}} \quad (2)$$

wobei n die Anzahl der Vierpole, F_n den Rauschfaktor und G_n den Verstärkungsfaktor des n -ten Vierpols darstellen. Danach spielt der erste Vierpol, der sich unmittelbar hinter der Antenne befindet, die entscheidende Rolle. Seine Rauschzahl legt im Prinzip schon den Bereich fest, in dem sich die Gesamtrauschzahl befindet.

Die Berechnungen der Gesamtrauschzahl der entsprechenden Beispiel-Schalttopologien wurden der Einfachheit halber ohne Sende-/ Empfangsschalter (Tx/Rx-Switches) und ohne Symmetrier-Glieder (Baluns) ausgeführt, die Werte für Einfügedämpfung IA der SAW-Filter, Verstärkung G , Rauschmaß NF und Rauschfaktor F des LNAs sowie des Empfänger-ICs sind für alle Beispiele gleich. Außerdem wird angenommen, dass die Verstärkung eines SAW-Filters seiner Einfügedämpfung entspricht, während die Rauschzahl eines SAW-Filters den negativen Wert seiner IA annimmt.

Voraussetzungen bei allen vier Beispielen:

$$IA_{SAW} = G_{SAW} = -2,9 \text{ dB}$$

$$G_{SAW (Linear)} = 0,513$$

$$NF_{SAW} = 2,9 \text{ dB} \rightarrow F_{SAW} = 1,95$$

$$G_{LNA} = 15 \text{ dB}$$

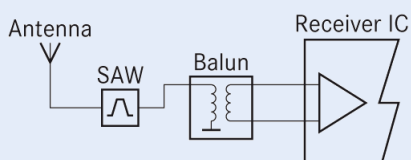
$$G_{LNA (Linear)} = 31,62$$

$$NF_{LNA} = 1,5 \text{ dB} \rightarrow F_{LNA} = 1,41$$

$$NF_{RxIC} = 8 \text{ dB}, NF_{RxIC (Linear)} = 6,31$$

Sämtliche Beispiele haben Vor- und Nachteile. Die Konfiguration des Beispiels 4 erweist sich für HF-basierte AMI-Systeme mit einem Gesamtrauschmaß von 5,37 dB als die am besten geeignete Lösung. Charakteristisch für diese Konfiguration sind ihre erhöhte Empfindlichkeit sowie die größere Trennschärfe in Kombination mit einer verbesserten Gleichaktunterdrückung, die sich durch den symmetrischen Betrieb des zweiten SAW-Filters ergibt.

BEISPIEL 1: SAW-FILTER – EMPFANGS-IC

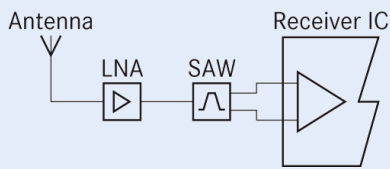


$$F_{1-2} = 12,3 \Rightarrow NF = 10,9 \text{ dB}$$

Die Rauschzahl des Empfänger-ICs hat große Auswirkungen auf das Rauschen. Das Gesamtrauschmaß beträgt 10,9 dB, die Empfindlichkeit des Empfängers wird deutlich gesenkt. Der Vorteil dieser Struktur liegt im Sperrern der Störsignale außerhalb des SAW-Bands, was wiederum den internen LNA des Empfangs-ICs davor schützt, in Sättigung zu gehen. Um die Rauschzahl drastisch zu senken, muss eine Stufe mit hohem Verstärkungsfaktor und geringer Rauschzahl vor dem SAW-Filter platziert werden.

Applications & Cases

BEISPIEL 2: LNA – SAW – EMPFANGS-IC

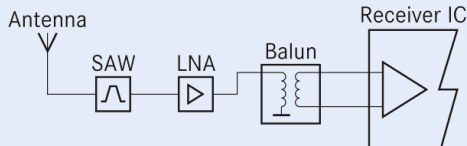


$$F_{1-3} = 1,77 \Rightarrow NF = 2,48 \text{ dB}$$

Das Gesamtrauschmaß NF ist deutlich niedriger, da der LNA mit seiner sehr niedrigen Rauschzahl die erste Stufe unmittelbar hinter der Antenne ist. Ein weiterer Vorteil dieser Konfiguration liegt darin, dass der SAW-Filter gleichzeitig die Funktionalität eines Baluns (Symmetrier-Glied) zur Verfügung stellt. Damit lassen sich die Gleichtaktunterdrückung CMRR sowie die Trennschärfe erhöhen.

Nachteilig ist, dass der Empfänger gegenüber starken Interferenzsignalen wie etwa Mobilfunksignalen anfälliger ist. Besonders, wenn das AMI-System via Mobilfunk die Verbrauchsdaten an eine Abfragebasisstation sendet, kann während der Übertragung das starke Signal den LNA in Sättigung bringen und dafür sorgen, dass der Empfänger die von einem anderen System verschickten Verbrauchsdaten in einem vermaschten Netzwerk nicht erkennen kann.

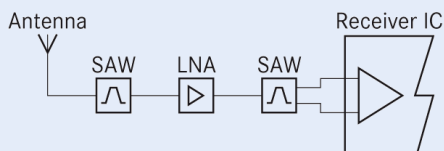
BEISPIEL 3: SAW – LNA – EMPFANGS-IC



$$F_{1-3} = 3,08 \Rightarrow NF = 4,88 \text{ dB}$$

Schalttopologie 3 geht einen Kompromiss zwischen geringeren Rauschzahlen und einer verbesserten Unempfindlichkeit gegenüber Störsignalen ein. Der unmittelbar hinter der Antenne platzierte SAW-Filter schützt den LNA und senkt die Wahrscheinlichkeit, dass der LNA in Sättigung geht.

BEISPIEL 4: SAW – LNA – SAW – EMPFANGS-IC



$$F_{1-4} = 3,45 \Rightarrow NF = 5,37 \text{ dB}$$

Die gezeigte erweiterte Version eines Empfänger-Frontends arbeitet mit einem Rauschmaß von 5,37 dB. Das ist ein im Vergleich mit Beispiel 1 bedeutend niedrigerer Wert. Wesentliche Vorteile: hohe Empfindlichkeit und Trennschärfe bei gleichzeitiger verbesserter Gleichtaktunterdrückung.

Applications & Cases

TYPISCHE EPCOS-SAW-FILTER FÜR AMI-ANWENDUNGEN

F_c [MHz]	Usable bandwidth	Ordering code	Package	Remark
400.00	0.25	B39401 B3742 H110	DCC6E	IF Filter
460.00	20.0	B39461 B3590 Z810	QCC8B	USA
869.00	2.0	B39871 B3716 U410	DCC6C	Europe
915.00	26.0	B39921 B3588 U410	DCC6C	USA
1,575.42	2.4	B39162 B3520 U410	DCC6C	South Africa
2,450.00	97.0	B39252 B4041 U410	DCC6C	Integrated ZigBee Filter

Zuverlässig in allen Belangen

AMI-Systeme müssen nicht nur empfindlich und trennscharf sein, sondern auch absolut zuverlässig arbeiten, da sie oft in rauen Umgebungen eingesetzt werden. Sämtliche verwendeten Bauelemente müssen entsprechend robust sein. Sie müssen beispielsweise periodische Veränderungen der Temperatur sowie der Luftfeuchtigkeit überstehen und unempfindlich gegenüber Stoßbelastungen und Vibrationen sein. Die gemäß AEC-Q200 qualifizierten SAW-Filter von EPCOS erfüllen alle diese Bedingungen. Der vom Automotive Electronic Council (AEC) für Anwendungen im automobilen Umfeld veröffentlichte Standard gilt als sehr anspruchsvoll. Deshalb eignet er sich gut zur Qualifizierung von Bauelementen, die in rauen Umgebungen zum Einsatz kommen.

Um den Standard zu erfüllen, sind AEC-Q200-qualifizierte SAW-Filter in einem Keramik-Gehäuse untergebracht, auf dessen Unterseite der Quarz- oder Lithium-Tantalat-Chip geklebt ist. Die Eingangs- und Ausgangs-Pins sowie Eingangs- und Ausgangs-Masse-Pins werden über Bonddrähte mit dem Gehäuse verbunden. Dieser Aufbau stellt sicher, dass der größte Teil der auf das Gehäuse einwirkenden mechanischen Beanspruchungen von der aktiven SAW-Struktur ferngehalten wird. Um den eigentlichen Filter vor Feuchtigkeit zu schützen, ist er hermetisch abgeschlossen. Dazu wird der das Gehäuse verschließende Metalldeckel mit der Oberseite des Gehäuses verschweißt. Neben der hohen Robustheit spielt auch die ESD (Electrostatic Discharge)-Empfindlichkeit des SAW-Filters eine entscheidende Rolle für die Zuverlässigkeit des AMI-Systems.

Autor: Günther Schlegel, Application Engineer, SAW Wireless Terminals